

# EUROPEAN PATENT OFFICE

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 10031120  
PUBLICATION DATE : 03-02-98

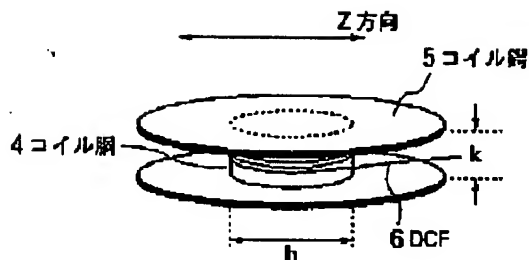
APPLICATION DATE : 15-07-96  
APPLICATION NUMBER : 08185157

APPLICANT : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD;

INVENTOR : ONISHI MASASHI;

INT.CL. : G02B 6/10

TITLE : WAVELENGTH DISTRIBUTION  
COMPENSATOR



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a wavelength distribution compensator with which a wavelength distribution compensating optical fiber(DCF) for long wide band is housed with a low loss or a low polarization distribution(PMD).

SOLUTION: Concerning this compensator, the wavelength distribution of an optical fiber transmission line is compensated by winding a DCF 6 having the wavelength distribution of inverse code of the optical fiber of the optical fiber transmission line and the wavelength distribution inclination of inverse code of the optical fiber of the optical fiber transmission line around a coil body 4. In this case, a transmission loss value is reduced by executing winding distortion removing processing either while the DCF is wound around the coil body or after winding, and the PMD is reduced by winding the DCF with the winding pitch larger than the diameter of the DCF when winding the DCF.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-31120

(43) 公開日 平成10年(1998) 2月3日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 2 B 6/10

識別記号

庁内整理番号

F I

G 0 2 B 6/10

技術表示箇所

C

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平8-185157

(22) 出願日 平成8年(1996) 7月15日

(71) 出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(72) 発明者 小谷野 裕史

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内

(72) 発明者 大西 正志

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内

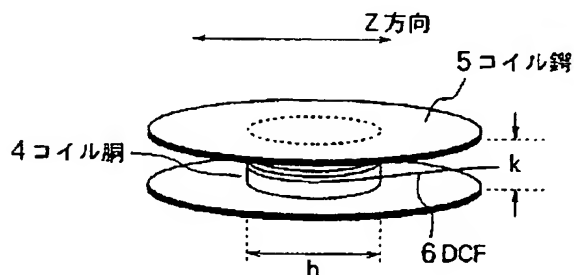
(74) 代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

(54) 【発明の名称】 波長分散補償器

(57) 【要約】

【課題】 長尺の広帯域用の波長分散補償光ファイバ (DCF) を低損失または低PMDを収納した波長分散補償器を提供する。

【解決手段】 光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆符号の波長分散および光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆符号の波長分散傾斜を有する波長分散補償光ファイバ (6) をコイル胴 (4) に巻き付けて光ファイバ伝送路の波長分散を補償する波長分散補償器において、波長分散補償光ファイバをコイル胴に巻き取り中および巻き取り後の少なくとも一方において巻き歪み除去処理を施して伝送損失値を低減させ、または波長分散補償光ファイバを巻き取る際に波長分散補償光ファイバの直径より大きい巻きピッチで巻くようにしてPMDを低減させる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光ファイバ伝送路の波長1.55 $\mu$ m帯における波長分散を低減する波長分散補償器において、前記光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆符号の波長分散および前記光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆符号の波長分散傾斜を有する波長分散補償光ファイバと、この波長分散補償光ファイバを巻き取るコイル胴とを備え、

前記波長分散補償光ファイバを前記コイル胴に巻き取り中および巻き取り後の少なくとも一方において巻き歪み除去処理を施したことを特徴とする波長分散補償器。

【請求項2】 光ファイバ伝送路の波長1.55 $\mu$ m帯における波長分散を低減する波長分散補償器において、前記光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆符号の波長分散および前記光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆符号の波長分散傾斜を有する波長分散補償光ファイバと、この波長分散補償光ファイバを巻き取るコイル胴とを備え、

前記波長分散補償光ファイバの直径の2倍以上の巻きピッチで前記波長分散補償光ファイバを前記コイル胴に巻き取ることを特徴とする波長分散補償器。

【請求項3】 光ファイバ伝送路の波長1.55 $\mu$ m帯における波長分散を低減する波長分散補償器において、前記光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆符号の波長分散および前記光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆符号の波長分散傾斜を有する波長分散補償光ファイバと、この波長分散補償光ファイバを巻き取るコイル胴とを備え、

前記波長分散補償光ファイバを前記コイル胴に巻き取り中および巻き取り後の少なくとも一方において巻き歪み除去処理を施すと共に前記波長分散補償光ファイバの直径の2倍以上の巻きピッチで前記波長分散補償光ファイバを前記コイル胴に巻き取ることを特徴とする波長分散補償器。

【請求項4】 前記波長分散補償光ファイバの側面にヤング率が0.03kg重/mm<sup>2</sup>以上0.15kg重/mm<sup>2</sup>以下である被覆材の1次被覆層と前記1次被覆層の側面にヤング率が50kg重/mm<sup>2</sup>以上100kg重/mm<sup>2</sup>以下である被覆材の2次被覆層とからなる被覆層を有することを特徴とする請求項1、請求項2または請求項3に記載の波長分散補償器。

【請求項5】 前記波長分散補償光ファイバの側面にヤング率が1kg重/mm<sup>2</sup>以上120kg重/mm<sup>2</sup>以下の被覆材からなる被覆層を有することを特徴とする請求項1、請求項2または請求項3に記載の波長分散補償器。

【請求項6】 前記被覆層は、20 $\mu$ m以上70 $\mu$ m以下の厚みを有することを特徴とする請求項4または請求項5に記載の波長分散補償器。

【請求項7】 前記巻き歪み除去処理は、

前記波長分散補償光ファイバを前記コイル胴に巻き取った後に、前記波長分散補償光ファイバを前記コイル胴に巻き取り中の温度よりも低い温度に保持し、また高い温度に保持することの少なくともいずれかを行う処理であることを特徴とする請求項1または請求項3に記載の波長分散補償器。

【請求項8】 前記巻き歪み除去処理は、前記波長分散補償光ファイバおよび前記コイル胴の少なくとも一方を60℃以上の所定の温度にして前記波長分散補償光ファイバを前記コイル胴に巻き取る処理であることを特徴とする請求項1または請求項3に記載の波長分散補償器。

【請求項9】 前記波長分散補償光ファイバを巻き取るコイルの前記コイル胴およびコイル鉤は、金属で作成されていることを特徴とする請求項1、請求項2、請求項7または請求項8に記載の波長分散補償器。

【請求項10】 前記巻き歪み除去処理は、前記波長分散補償光ファイバを25g重以上で50g重以下の巻き取り張力で前記コイル胴に巻き取る処理であることを特徴とする請求項1または請求項3に記載の波長分散補償器。

【請求項11】 前記巻き歪み除去処理は、前記波長分散補償光ファイバを前記コイル胴に巻き取り後に前記コイルに振動を加える処理であることを特徴とする請求項1または請求項3に記載の波長分散補償器。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、波長分散補償器に関し、特に光ファイバ伝送路の波長1.55 $\mu$ m帯の波長分散を低減する波長分散補償器に関する。

【0002】

【従来の技術】希土類元素であるエルビウム(Er)を添加した光ファイバを利用して1.55 $\mu$ m帯で動作する光増幅器により、1.55 $\mu$ m帯での長距離大容量伝送が可能である。しかし、零分散波長を1.3 $\mu$ m帯にもつシングルモードファイバ(1.3SMF)を用いて1.55 $\mu$ m帯での伝送を行う場合、零分散波長が一致しないので、大きな波長分散が生じて光信号が歪み信号品質が劣化する。そのため、1.3SMFを用いて1.55 $\mu$ m帯で伝送を行う際には、この波長分散を抑える技術が必要である。その一つとして1.3SMFとは逆符号の大きな波長分散をもつ分散補償光ファイバ(DCF)を用いて1.55 $\mu$ m帯における波長分散を相殺してしまう方法がある。

【0003】このDCFには大きく分けて二つの種類がある。一つは、特定の波長での波長分散が1.3SMFと逆であるためその波長での波長分散を補償できるものであり、光ファイバのクラッド部分の屈折率が異なるマッチドクラッド型(図15(a))の構造が知られている。他の一つは、波長分散だけでなく波長分散の波長依

存性（波長分散傾斜）までもが1.3SMFと逆であるため広い帯域において波長分散を補償できるものであり、コア部分とクラッド部分の間にディプレスト部分を有する二重クラッド型（図15（b））と、クラッド部分の中に屈折率の高い部分を設けたセグメントコア型（図15（c））の構造が知られている。このような広帯域用のDCFを用いれば、複数の信号を波長を僅かづつズラした光で伝送することができるので、ファイバ1本当たりの伝送容量を増加できる波長多重伝送が容易に行える。

#### 【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかし、広帯域用DCFに適した光ファイバの屈折率プロファイルとして知られている二重クラッド型およびセグメント型の構造の光ファイバは、一般に曲げ損失特性が悪いので、小さなコイルに収納すると伝送波長帯である1.55 $\mu$ m帯において大きな曲げ損失を生じる。また、狭帯域用DCFにもいえるが、偏波分散（PMD）が大きくなる。そのため小型コイルに効率よく長尺の広帯域用DCFを低損失または低PMDで収納する技術が望まれている。

【0005】従って、本発明の目的は、長尺の広帯域用DCFを低損失または低PMDで収納した波長分散補償器を提供することにある。

#### 【0006】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、上記の目的を達成するために鋭意検討を重ねた結果、下記の点に着目して本発明をするに至った。

【0007】長尺の広帯域用DCFを小型コイルに巻くと伝送波長帯である1.55 $\mu$ m帯において大きな損失増加を示す。その波長依存性を調べると、長波長側ほど伝送損失が大きくなるいわゆるマクロベンド損失であることを見いだした。マクロベンド損失は光ファイバを小さな曲率で曲げたときに発生するもので、コイルに巻いたときにはコイルの胴径に応じた曲率で曲げられるためにマクロベンド損失が発生する可能性がある。しかし、コイルに巻いた後にコイル胴を抜き取ると、増加した伝送損失はほとんど消失した。このことからコイル巻きによって発生する損失の主要因は、多層に巻いたために隣合うファイバから光ファイバ側面に対して垂直な方向に受ける側圧であることが明らかになった。したがって、マクロベンド損失は、側圧により光ファイバが屈曲することによって生じているものと考えられる。

【0008】そこで、光ファイバをコイル胴に巻き付ける際に生じる側圧によって局所的に小さく屈曲した光ファイバの曲率半径を大きくしてやること、または側圧自身を低減させることによって低損失のコイルを生産できるという結論に至った。

【0009】また、直交する偏光モード間の遅延時間差であるPMDは光ファイバの複屈折により発生して伝送信号の信号品質を劣化させる。この複屈折は、光ファイ

バを曲げることにより発生することが知られている。波長分散補償器のコイルにDCFを巻く際にもPMDが増加することが知られているが、発明者らは、DCFをコイル胴に巻く際の巻きピッチを制御することでPMDを低減できることも見いだした。

【0010】したがって、本発明は次のような構成とした。

【0011】本発明に係わる波長分散補償器は、光ファイバ伝送路の波長1.55 $\mu$ m帯における波長分散を低減する波長分散補償器において、光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆符号の波長分散および光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆符号の波長分散傾斜を有する波長分散補償光ファイバと、この波長分散補償光ファイバを巻き取るコイル胴とを備え、波長分散補償光ファイバをコイル胴に巻き取り中および巻き取り後の少なくとも一方において巻き歪み除去処理を施した。

【0012】このように光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆の波長分散および光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆の波長分散傾斜を有する波長分散補償光ファイバを用いて、これをコイル胴に巻き取り中および巻き取り後の少なくとも一方において巻き歪み除去処理を施したので、コイル胴に巻かれる際に発生する側圧を低減できる。

【0013】本発明に係わる波長分散補償器は、光ファイバ伝送路の波長1.55 $\mu$ m帯における波長分散を低減する波長分散補償器において、光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆符号の波長分散および光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆符号の波長分散傾斜を有する波長分散補償光ファイバと、この波長分散補償光ファイバを巻き取るコイル胴とを備え、波長分散補償光ファイバの直径の2倍以上の巻きピッチで波長分散補償光ファイバをコイル胴に巻き取ることとした。

【0014】このように波長分散補償光ファイバを用いて、この波長分散補償光ファイバをコイル胴に複数回巻き取る際に波長分散補償光ファイバの直径の2倍以上の巻き取りピッチで巻き取りを行うとPMDを低減できる。光ファイバにおいては長手方向の複屈折率変化の状況により偏波モード間でエネルギーのやりとりを行うモード結合が生じるが、この結合が頻繁に生じると両偏波モード間の遅延差は増大しにくくなり、PMDは小さくなる。すなわち、巻きピッチを大きくすると光ファイバ同士の交差点数が増えるが、このことがモード結合の頻度を増加させて、結果としてPMDが減少するものと考えられる。

【0015】本発明に係わる波長分散補償器は、光ファイバ伝送路の波長1.55 $\mu$ m帯における波長分散を低減する波長分散補償器において、光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆符号の波長分散および光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆符号の波長分散傾斜を有する波長分散補償光ファイバと、この波長分散補償光ファイバを巻

き取るコイル胴とを備え、波長分散補償光ファイバをコイル胴に巻き取り中および巻き取り後の少なくとも一方において巻き歪み除去処理を施すと共に波長分散補償光ファイバの直径の2倍以上の巻きピッチで波長分散補償光ファイバをコイル胴に巻き取ることとした。

【0016】このように光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆の波長分散および光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆の波長分散傾斜を有する波長分散補償光ファイバを用いて、この波長分散補償光ファイバをコイル胴に巻き取り中および巻き取り後の少なくとも一方において巻き歪み除去処理を施したので、コイル胴に巻かれる際に発生する側圧を低減できる。また、この波長分散補償光ファイバをコイル胴に複数回巻き取る際に波長分散補償光ファイバの直径の2倍以上の巻き取りピッチで巻き取りを行うと、直交する偏波モード間でモード間結合が生じて、PMDを低減できる。

【0017】本発明に係わる波長分散補償器は、波長分散補償光ファイバの側面にヤング率が $0.03\text{ kg重/mm}^2$ 以上 $0.15\text{ kg重/mm}^2$ 以下である被覆材の1次被覆層と1次被覆層の側面にヤング率が $50\text{ kg重/mm}^2$ 以上 $100\text{ kg重/mm}^2$ 以下である被覆材の2次被覆層とからなる被覆層を有するようにしてもよい。

【0018】このように所定のヤング率の被覆層を2つ有する波長分散補償光ファイバをコイル胴に巻き取り中および巻き取り後の少なくとも一方で巻き歪み除去処理を行うと側圧が緩和できる。また、所定のヤング率の被覆層を2層有する波長分散補償光ファイバをコイル胴に複数回巻き取る際に波長分散補償光ファイバの直径より大きい巻き取りピッチで巻き取りを行うと、PMDを低減できると共に伝送損失を低減できる。

【0019】本発明に係わる波長分散補償器は、波長分散補償光ファイバの側面にヤング率が $1\text{ kg重/mm}^2$ 以上 $120\text{ kg重/mm}^2$ 以下の被覆材からなる被覆層を有するようにしてもよい。

【0020】このようにすると所定のヤング率の被覆層を有する波長分散補償光ファイバをコイル胴に巻き取り中および巻き取り後の少なくとも一方で巻き歪み除去処理を行うと側圧が緩和できる。また、所定のヤング率の被覆層を有する波長分散補償光ファイバをコイル胴に複数回巻き取る際に波長分散補償光ファイバの直径のより大きい巻き取りピッチで巻き取りを行うと、PMDを低減できると共に伝送損失を低減できる。

【0021】本発明に係わる波長分散補償器は、波長分散補償光ファイバの被覆層が、 $20\mu\text{m}$ 以上 $70\mu\text{m}$ 以下の厚みを有するようにしてもよい。

【0022】このように所定のヤング率および所定の厚さの被覆層を有する波長分散補償光ファイバをコイル胴に巻き取り中および巻き取り後の少なくとも一方において巻き歪み除去処理を行うと、側圧が緩和できる。また、所定のヤング率および所定の厚さの被覆層を有する

波長分散補償光ファイバをコイル胴に複数回巻き取る際に波長分散補償光ファイバの直径より大きい巻き取りピッチで巻き取りを行うと、PMDを低減できると共に伝送損失を低減できる。

【0023】本発明に係わる波長分散補償器は、巻き歪み除去処理が、波長分散補償光ファイバをコイル胴に巻き取った後に、波長分散補償光ファイバをコイル胴に巻き取り中の温度よりも低い温度に保持し、また高い温度に保持することの少なくともいずれかを行う処理であるようにしてもよい。

【0024】このように巻き取り中の波長分散補償光ファイバの温度よりも低い温度に所定の時間保持すると被覆層が一旦収縮するので、波長分散補償光ファイバの曲率半径を大きくできる。また、巻き取り中の波長分散補償光ファイバの温度よりも高い温度に所定の時間保持すると被覆層の応力を緩和できるので、波長分散補償光ファイバの曲率半径を大きくできる。

【0025】本発明に係わる波長分散補償器は、巻き歪み除去処理が、波長分散補償光ファイバおよびコイル胴の少なくとも一方を $60^\circ\text{C}$ 以上の所定の温度にして波長分散補償光ファイバをコイル胴に巻き取る処理であるようにしてもよい。

【0026】このように波長分散補償光ファイバおよびコイル胴の少なくとも一方を所定の温度にしてコイル胴に巻き取って、巻き取り後に温度を低くすると、コイルの温度が下がった後の側圧を低減できる。

【0027】本発明に係わる波長分散補償器は、波長分散補償光ファイバを巻くコイルのコイル胴およびコイル鍔が、金属で作成されているようにしてもよい。

【0028】このようにコイル胴およびコイル鍔に金属を用いると、波長分散補償光ファイバの被覆材の耐熱限界近傍まで熱緩和のための熱処理温度を上昇できる。

【0029】本発明に係わる波長分散補償器は、巻き歪み除去処理が、波長分散補償光ファイバを $25\text{ g重}$ 以上 $50\text{ g重}$ 以下の巻き取り張力でコイル胴に巻き取る処理であるようにしてもよい。

【0030】このように波長分散補償光ファイバをコイル胴に巻き取り中の張力を所定の範囲にするとコイル胴に巻き取る際の側圧を低くできる。

【0031】本発明に係わる波長分散補償器は、巻き歪み除去処理が、波長分散補償光ファイバをコイル胴に巻き取り後にコイルに振動を加える処理であるようにしてもよい。

【0032】このように波長分散補償光ファイバをコイル胴に巻き取り後に振動をコイルに加えると光ファイバの局所的な曲がり角が緩和されて曲率半径を大きくできる。

【0033】

【発明の実施の形態】以下、広帯域用DCF（以下、単にDCFと記す）を用いた場合に添付図面を参照して本

発明を詳細に説明する。

【0034】図1は、本発明の実施の形態で使用する波長分散補償光ファイバの断面図であり、特に被覆層が2層の場合を示した。波長分散補償光ファイバは、光ファイバ(1)を中心に同心円柱殻状の2層の被覆層(2、3)を光ファイバの側面に有する。図2は、本発明で実施の形態で使用する波長分散補償光ファイバの巻き取り用のコイルの斜視図であり、波長分散補償光ファイバを多層に巻き付けるコイル胴(4)とその両側にあるコイル鐐(5)からなる。コイル胴は、円筒形のものを用いたが、円筒形に限られるものではない。

【0035】図3は、本発明で実施の形態で使用する波長分散補償光ファイバの諸元を一覧に示した諸元一覧図である。図3において、屈折率分布形状は、図15(a)、(b)、(c)に対応し、また $\Delta$ 、 $\Delta_{depressed}$ 、 $\Delta_{cladding}$ 、a、bおよびcは、図15中のそれぞれの記号に対応する。ガラス径d、一次被覆厚e、二次被覆厚f、ファイバ外径gは、図1のそれぞれの符号に対応する。なお、被覆材は樹脂を用い、コイルはアルミ製を用いたが金属であれば、アルミ以外でも使用できる。

【0036】また、以下の説明に際して、数値を分かりやすくするために力およびヤング率の単位として重力単位系を用いる。

【0037】(第1の実施の形態)図4は本発明の第1の実施の形態を示した光ファイバの伝送損失の特性図である。ファイバA(図3参照)のDCF9kmを、胴径が120mm、巻き幅45mmのアルミ製コイルに巻きピッチ0.28mmで約90層巻いたときの伝送損失値を縦軸に、巻き取り張力を横軸に示した。破線14は、胴径280mmのプラスチックボビンに巻いた状態での波長1.55 $\mu$ mの伝送損失値(0.53dB/km)である。図4にも示したように張力70g重で巻くと伝送損失値は、3.01dB/kmであり、張力50g重で巻くと伝送損失値は、1.98dB/kmとなった。

【0038】また、図5は本発明の第1の実施の形態を示した光ファイバの別の伝送損失の特性図である。ファイバA(図3参照)のDCF13kmを、胴径が60mm、巻き幅45mmのアルミ製コイルに巻きピッチ0.28mmで約190層巻いたときの伝送損失値を縦軸に、巻き取り張力を横軸に示した。破線15は、胴径280mmのプラスチックボビンに巻いた状態で波長1.55 $\mu$ mでの伝送損失値(0.53dB/km)である。図5に示したように張力50g重で巻くと伝送損失値は、2.54dB/kmであり、張力25g重で巻くと伝送損失値は、1.05dB/kmとなった。しかし、張力20g重で巻くとファイバの巻きが緩くなり、伝送損失値は2.95dB/kmとなった。

【0039】また、図6は本発明の第1の実施の形態を示した光ファイバの別の特性図である。ファイバC(図

3参照)のDCF8kmを、胴径が100mm、巻き幅18mmのアルミ製コイルに巻きピッチ0.40mmで約210層巻いたときの伝送損失値を縦軸に、巻き取り張力を横軸に示した。破線16は、コイル巻き取り前の状態で波長1.55 $\mu$ mでの伝送損失値(0.45dB/km)である。図6に示したように張力50g重で巻くと伝送損失値は、0.50dB/kmであり、張力40g重で巻くと伝送損失値は、0.48dB/kmとなり、張力30g重で巻くと伝送損失値は、0.46dB/kmとなった。しかし、張力20g重で巻くとファイバの巻きが緩くなり、伝送損失値は増加してしてしまった。

【0040】このように光ファイバをコイル胴に巻き取る際の張力を小さくすると、伝送損失値の巻き取りによる増加を低減できる。以上複数例示して説明したように、コイル巻き取りの際に張力は50g重から25g重の範囲が好ましい。このような張力の範囲で巻き取りを行うと、巻き取りの際の側圧を抑えることができるので、伝送損失値の増加を低減できる。さらに好ましくは、40g重から30g重の範囲が好ましい。このような張力の範囲で巻き取りを行うと、さらに伝送損失値の増加を低減できる。

【0041】(第2の実施の形態)図7は本発明の第2の実施の形態を示した特性図である。ファイバD(図3参照)のDCF14kmを、胴径が80mm、巻き幅45mmのアルミ製コイルに巻き張力35g重で約190層巻いたときのPMDを縦軸に、巻きピッチを横軸に示した。光ファイバの直径は、0.198mmである。図9に黒丸印で示したように巻きピッチ0.2mmでのPMDは、1.68psであり、巻きピッチ0.4mmでのPMDは、1.12psとなった。さらに巻きピッチ0.6mmでのPMDは、0.94ps、巻きピッチ1.0mmでのPMDは、0.90psとなった。

【0042】このように巻きピッチを巻きつけるDCFの直径に比べて大きくするとPMDを低減できる。これを巻きピッチとDCFの直径の比を指標とすると、この比を特に2以上の値にすると、PMDをかなり低減できるので好ましい。さらにこの比を3以上にすると、巻きピッチ依存性を非常に小さくできるので好ましい。

【0043】このようにDCFを小型コイルに巻き取る際に巻き取りピッチを制御すると、直交する偏波モード間でモード間結合が生じるので、PMDを低減できる。

【0044】一方、このコイルの伝送損失値は、巻きピッチ0.6mmでは0.46dB/kmであった。このコイルを変温速度0.5℃/分で80℃まで上昇させ1時間保持して室温に戻して伝送損失値を再び測定すると、0.44dB/kmとなり、コイルを巻く前の伝送損失値と同じになった。このときのPMDは、0.79psとなった(図7の黒三角印)。

【0045】このようにDCFを小型コイルに巻き取る

際に巻き取りピッチを制御し、さらに巻き取った後に熱処理を行うと、応力の緩和が起こり伝送損失値の増加を低減できる。そして、さらにPMDの増加も低減できる。

【0046】(第3の実施の形態)ファイバF(図3参照)のDCF6kmを、胴径が100mm、巻き幅35mmのアルミ製コイルに巻きピッチ0.8mmで巻き張力40g重で約120層巻いたものに、振動を30分間加えて伝送損失値の変化を調べた。コイルに加える振動は振動試験器を用い、時間に対する振動によるコイルの変位は正弦波を描くようにした。振動周波数は50Hz、最大加速度は $10\text{m/sec}^2$ であり、振動の方向はコイルの鋸面に対して略平行な方向(図2のZ方向)である。コイルに巻く前の波長 $1.55\mu\text{m}$ での伝送損失値は、 $0.44\text{dB/km}$ であったが、コイルに巻き取り後の伝送損失値は $0.45\text{dB/km}$ と増加し、上記の振動を加えた後の伝送損失値は $0.44\text{dB/km}$ となり巻き取り前の値に戻った。

【0047】このように振動を与えることにより、DCFの曲率半径を大きくするようになりまたは側圧を緩和させたりすると伝送損失値の増加を低減できる。なお、振動は合計として30分以上あれば、連続して加える必要はなく、例えばある時間の振動を間欠的に加えてもよい。

【0048】また、コイルの振動の方向はコイルの鋸面に対して平行な方向(図2のZ方向)ばかりでなく、コイルの鋸面に対して略垂直な方向に加えてもよいし、さらにコイルの鋸面に対し垂直な方向に所定の角度をもって行ってよい。なお、コイルに振動を加える際には、巻崩れ防止策を付すことが好ましい。

【0049】(第4の実施の形態)ファイバA(図3参照)のDCF9kmを、胴径が120mm、巻き幅45mmのアルミ製コイルに巻きピッチ0.28mmで巻き張力50g重で約90層巻くと、伝送損失値は $1.98\text{dB/km}$ となった。胴径280mmのプラスチックボビンに巻いた状態で波長 $1.55\mu\text{m}$ での伝送損失値は、 $0.53\text{dB/km}$ である。このコイルに図8

(a)に示すヒートサイクルを加えた。このときの伝送損失値の変化分を図8(b)に示す。ヒートサイクルの条件は、変化範囲が $-40^\circ\text{C}\sim 80^\circ\text{C}$ 、変温速度が $1^\circ\text{C}/\text{分}$ 、 $-40^\circ\text{C}$ および $80^\circ\text{C}$ で各1時間の滞留を経て、これを2サイクル行い、 $20^\circ\text{C}$ で開始時に1時間、終了時に2時間の滞留を行った。このヒートサイクルの結果、図8(b)から判るようにコイル巻き取りによる波長 $1.55\mu\text{m}$ での伝送損失値の変化分は約 $-1.4\text{dB/km}$ となり、コイル巻による増加分は消失した。このようなヒートサイクルは、初期温度に対して $\pm 60^\circ\text{C}$ の温度変化を与えたことにもなる。そして、図8(b)から判るように、このヒートサイクルを2回行くと伝送損失値がほぼ安定した。

【0050】また、ファイバA(図3参照)のDCF13kmを、胴径が60mm、巻き幅45mmのアルミ製コイルに巻きピッチ0.28mm、巻き張力25g重で約190層巻いたときの伝送損失値は、 $1.05\text{dB/km}$ となった。胴径280mmのプラスチックボビンに巻いた状態で波長 $1.55\mu\text{m}$ での伝送損失値は、 $0.53\text{dB/km}$ である。このコイルに図9に示すヒートサイクルを加えた。ヒートサイクルの条件は、図8

(a)に示したものと昇降の順序を逆にする以外は同じである。このヒートサイクルの結果、巻き取った後の波長 $1.55\mu\text{m}$ での伝送損失値は $0.53\text{dB/km}$ となり、コイル巻による増加分は消失した。

【0051】このようにヒートサイクルをコイルに巻き取り後のDCFに行うと、巻き取り時よりも低温にした時は被覆が収縮し、また巻き取り時より温度が高くなった時は熱により応力の緩和が生じて、巻き取り後のDCFの曲率半径を大きくできるので、伝送損失値の増加を小さくできる。また、ヒートサイクルを複数回繰り返すと伝送損失値が熱による変化量に対して安定する。

【0052】また、ファイバC(図3参照)のDCF8kmを、胴径が100mm、巻き幅18mmのアルミ製コイルに巻きピッチ0.40mm、巻き張力40g重および50g重で約210層巻いたときの伝送損失値は、それぞれ $0.48\text{dB/km}$ および $0.50\text{dB/km}$ となった。張力40g重で巻いたコイルを室温から変温速度 $0.5^\circ\text{C}/\text{分}$ で変化させて、 $0^\circ\text{C}$ で1時間冷却して室温に戻し、伝送損失値を測定すると $0.45\text{dB/km}$ となり、また、張力50g重で巻いたコイルを $-20^\circ\text{C}$ で1時間冷却した後に室温に戻して伝送損失値を測定すると $0.45\text{dB/km}$ となった。どちらの場合もコイル巻きによる増加分は消失した。このようなヒートサイクルは、初期温度に対して約 $-40^\circ\text{C}$ の温度変化を与えたようになっている。

【0053】このようにヒートサイクルは低温側のみ行ってよい。巻き取り時よりも低温になると被覆が収縮するので、巻き取り後のDCFの曲率半径を大きくできる。その結果、伝送損失値を小さくできる。

【0054】また、ファイバE(図3参照)のDCF10kmを、胴径が100mm、巻き幅35mmのアルミ製コイルに巻きピッチ0.5mmで巻き張力30g重で約170層巻いたものに、ヒートサイクルを加えて伝送損失値の変化を調べた。コイルに巻き取る前の波長 $1.55\mu\text{m}$ での伝送損失値は $0.98\text{dB/km}$ であり、コイルに巻き取り後の伝送損失値は $1.01\text{dB/km}$ となった。このコイルに、変温速度 $1^\circ\text{C}/\text{分}$ で室温から $60^\circ\text{C}$ まで上昇させ3時間保持し再び室温に戻すヒートサイクルをかけた後に伝送損失値を測定すると $0.98\text{dB/km}$ となった。このようなヒートサイクルは、初期温度に対して約 $+40^\circ\text{C}$ の温度変化を与えたことにもなる。



【0055】このようにヒートサイクルは高温側のみ行ってよい。巻き取り時より温度が高くなると熱により応力の緩和が生じるので、巻き取り後のDCFの曲率半径を大きくできる。その結果、伝送損失値を小さくできる。なお、温度が高い方が伝送損失値の回復効果が大きいが、使用するDCFの被覆材のガラス転移点より低い温度でなければならない。

【0056】また、ファイバG（図3参照）のDCF 8.5 kmを、胴径が70 mm、巻き幅6 mmのアルミ製コイルに巻きピッチ0.3 mmで巻き張力35 g重で約500層巻いたものに、熱処理を加えて伝送損失値の変化を調べた。コイルに巻き取る前の波長1.55  $\mu$ mでの伝送損失値は0.51 dB/kmであり、コイルに巻き取り後の伝送損失値は0.55 dB/kmとなった。このコイルにヒートサイクルをかけた後に室温に戻して伝送損失値を測定すると0.51 dB/kmに戻った。ヒートサイクルの条件は、変温速度1℃/分で、0℃と70℃で1時間滞留させるのを1サイクルとし、このサイクルを6回行い、+20℃で開始時と終了時に各1時間の滞留を行った。このようなヒートサイクルは、初期温度に対して約-20℃および+50℃の温度変化を与えたようになっている。

【0057】一方、ファイバA（図3参照）のDCF 9 kmを、胴径が120 mm、巻き幅45 mmのアルミ製コイルに巻きピッチ0.28 mm、巻き張力50 g重で約90層巻いたときの図8（a）に示す熱処理を行った後の伝送損失値を縦軸に、波長を横軸にして図10

（a）示す。また、曲げ特性に優れる狭帯域用DCFであるファイバBを同じ条件で巻き取った場合の同様の特性を図10（b）に示す。この2つを比べると、狭帯域用DCFでは、巻き取りによる伝送損失値の増加はないが、広帯域用DCFでは、巻き取りによる伝送損失値の増加が顕著である。すなわち、本発明は、光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆符号の波長分散および光ファイバ伝送路の光ファイバとは逆符号の波長分散傾斜を有する広帯域用DCFで特に有効に作用する。

【0058】このように複数例示して説明したように、コイルを所定の巻き取り張力のもとで巻き取り、その後巻き取りの際の温度よりも高い温度または低い温度に所定の時間置くヒートサイクルにより伝送損失値をさらに低減できる。実質的には、巻き取り前の伝送損失値まで値を低減できる。

【0059】ここに示したヒートサイクルは例示であり、巻き取り後にDCFの曲率半径を大きくできれば、ヒートサイクルは以上の例示に限られない。したがって、DCFをコイル胴に巻き取った後に次のような熱処理を施してもよい。例えば、巻き取ったの後に60℃以上で3時間以上加熱、巻き取ったの後に80℃以上で1時間以上加熱、巻き取ったの後に0℃以下で1時間以上冷却、巻き取ったの後に-20℃以下で1時間以上冷却

等の熱処理であってもよく、これらの組み合わせまたは複数回の繰り返してであってもよい。また、温度の変化速度は、0.5℃/分以上であってもよい。さらに、ヒートサイクルは初期温度またはコイルの巻き取り温度に対して所定の温度差を所定の時間保持するものでよい。

【0060】（第5の実施の形態）ファイバG（図3参照）のDCF 8.5 kmを、胴径が70 mm、巻き幅6 mmのアルミ製コイルに巻きピッチ0.3 mm、巻き張力35 g重で約500層を加熱しながら巻いた場合に伝送損失値を調べた。巻き取りの際のDCFおよびコイルの加熱は、図11に示す配置に行った。図11によれば、コイル胴（3）の両側にあるコイル罫（5）の間の巻き取り前のDCFに向けてコイル罫（5）と平行な方向からドライヤーで熱風（7）を当てる。

【0061】この配置でコイル表面の温度が80℃でDCFの巻き取りを行い、巻き取り終了後にドライヤーでの加熱を止めてコイルの温度が室温に下がった後に、伝送損失値を測定すると0.51 dB/kmであった。コイル巻き取り前の伝送損失値が0.51 dB/kmであったので、巻き取りによる伝送損失値の増加はない。また、同様にコイル表面の温度が60℃でDCFの巻き取りを行った時の伝送損失値は、0.52 dB/kmであった。つまり、実質的に巻き取り前の伝送損失値まで値を低減できる。なお、本実施の形態のように巻き取り時に加熱しないで巻き取りを行った場合の伝送損失値は、0.55 dB/kmであった。

【0062】このように巻き取りの際に巻き取るDCFを加熱すると、この熱が巻き取られたDCFの曲率半径を大きくするように作用するので、伝送損失値の増加を低減できる。つまり、室温に冷却される過程で被覆樹脂の応力の緩和が起こるのである。加熱の所定の温度は、上述の説明により60℃以上でかつ被覆樹脂のガラス転移点未満の温度範囲が好ましい。さらに好ましくは、80℃以上でかつ被覆樹脂のガラス転移点未満の温度範囲にできれば、伝送損失値を十分小さくできる。

【0063】以上本実施の形態で説明したように、所定の張力で巻き取り歪みを低減し、かつ加熱しながら巻き取りを行うと、伝送損失値の増加をさらに低減できることがわかる。

【0064】また、本実施の形態では、DCFとコイル胴の両方を所定の温度にしたが、DCFおよびコイル胴の少なくとも一方を所定の温度に保持するようにしてもよい。このようにしても巻き取り終了後に温度が下がると応力が緩和されるので、伝送損失値の増加を低減できる。

【0065】さらに、DCFを所定の温度にする場合は、巻き取るDCFのすべてを所定の温度にすることなく、DCFをコイル胴に巻き取る部分を少なくとも所定の温度にしてもよい。このようにしても巻き取り終了後に温度が下がると応力が緩和されるので、伝送損失値の



増加を低減できる。

【0066】(第6の実施の形態)ファイバH(図3参照)のDCF8、5kmを、胴径が70mm、巻き幅6mmのアルミ製コイルに巻きピッチ0.3mm、巻き張力35g重で約500層を室温で巻いた場合に伝送損失値を調べた。ファイバHは、図3からも判るようにファイバGとは、ヤング率の値を除いて同じである。このファイバHをコイル巻き取り後に伝送損失値を測定すると、0.51dB/kmであり、巻き取りによる伝送損失値の増加はない。つまり、実質的に巻き取り前の伝送損失値まで値を低減できる。

【0067】このようにヤング率が小さい被覆層を光ファイバの側面に設けると、被覆層が緩衝層として作用するので、伝送損失値の増加を低減できる。そして、緩衝層としての作用は、ヤング率が小さいほど有効に作用する。したがって、ファイバGで使用した被覆材のヤング率120kg重/mm<sup>2</sup>より小さいヤング率の被覆材で被覆すれば、緩衝作用により伝送損失値の低減が期待できる。すなわち、ヤング率が1kg重/mm<sup>2</sup>以上120kg重/mm<sup>2</sup>未満の被覆材の被覆層を波長分散補償光ファイバの側面に有していると、この波長分散補償光ファイバをコイル胴に複数回巻いた光ファイバコイルの伝送損失値は、ファイバGに比べて小さくできる。

【0068】なお、上記記載したヤング率の測定値は20℃での値であり、被覆材のヤング率の測定は、図12に示す方法で行った。図12に基づいてヤング率の測定方法を説明する。まず、光ファイバを適当な長さで短く切断する(図12(a))。この光ファイバの短片をアセトンに漬けて、光ファイバのガラス部分を抜き取り、残りの被覆層部分を乾燥させる(図12(b))。標点間隔を25mmとして、引っ張り速度を1mm/分で被覆層部分を引っ張り(図12(c))、標点間隔の距離が2.5%伸びた時の加重からヤング率を計算する。ヤング率算出の計算式は、(ヤング率) = (2.5%伸びた時のkg重単位での引っ張り加重) ÷ (引っ張り方向に対して垂直な樹脂面のmm<sup>2</sup>単位での断面積) ÷ 0.025である。

【0069】以上第1の実施の形態から第6の実施の形態によって巻き歪み除去処理を例示して説明した。これらの処理は、光ファイバをコイルに巻き付ける際に生じる側圧によって屈曲した光ファイバの曲率半径を大きくしてやること、または側圧自身を低減させる作用がある。さらに、具体的には上述した例示を含めて、巻かれた光ファイバの曲率半径を増大させる方法としては、例えば、光ファイバの温度を上昇させて被覆樹脂の熱応力緩和を生じさせる方法、光ファイバの温度を低下させて被覆樹脂を一旦収縮させる方法、コイルに巻き取った後にコイルに振動を加える方法等が有効である。また、側圧を低減させる方法としては、例えば、コイルに巻き取るときの張力を低くする方法、光ファイバの巻き層数を

少なくする方法、光ファイバの被覆樹脂のヤング率を小さくする方法等が有効である。そして、これらの複数の任意の組み合わせでも同様の作用を得ることができる。

【0070】具体例を以て説明をしなかったが、第1の実施の形態から第6の実施の形態までの説明および図3の諸元より、波長分散補償光ファイバは、この側面にヤング率が0.03kg重/mm<sup>2</sup>以上0.15kg重/mm<sup>2</sup>以下である被覆材の1次被覆層とこの1次被覆層の側面にヤング率が50kg重/mm<sup>2</sup>以上100kg重/mm<sup>2</sup>以下である被覆材の2次被覆層とからなる被覆層を有するようにしても、本発明の作用を発揮する。また、同様に波長分散補償光ファイバは、この側面にヤング率が1kg重/mm<sup>2</sup>以上120kg重/mm<sup>2</sup>以下の被覆材からなる被覆層を有するようにしても、本発明の作用を発揮する。また、同様にこの被覆層は、20μm以上70μm以下の厚みを有するようにしても、本発明の作用を発揮する。さらに、DCFの長さは6km以上で、コイル胴の直径は120mm以下で、コイルの巻幅は45mm以下で、コイルの巻層数は500層以下でそれぞれ本発明の作用は有効である。

【0071】次に、本発明の波長分散補償器の使用方法を図13および図14に基づいて説明する。図13は、本発明の光分散補償器を使用した光伝送システムの構成図である。この光伝送システムでは、送信器(8)の出力に接続された光増幅器(9)の出力が光ファイバ伝送路(10)の一端に接続されている。そして、光ファイバ伝送路(10)の他端は光増幅器(9)に接続され、この光増幅器(9)の出力は波長分散補償器(11)に接続され、この後に受信器(12)に至っている。このように本発明の波長分散補償器(11)を光伝送システムで使用すると、光ファイバ伝送路(10)で生じた光信号の歪みを低伝送損失または低PMDで補償できる。

【0072】また、図14(a)は、本発明の光分散補償器を使用した別の光伝送システムの構成図である。この光伝送システムでは、光ファイバ伝送路(10)の一端には、送信器(8)の出力に接続された波長分散補償器付き光増幅器(13)が接続されている。そして、光ファイバ伝送路(10)の間には必要に応じて1個以上の波長分散補償器付き光増幅器(13)が配置され、光ファイバ伝送路の他端には受信器(12)が接続されている。波長分散補償器付き光増幅器(13)の構成は、例えば、図14(b)に示すように、入力および出力に光増幅器(9)を有しその間に波長分散補償器(11)を配置して光信号の歪みを抑えつつ光信号の増幅をする構成となっている。また、図14(c)に示すように、入力に光増幅器(9)を有しその出力に波長分散補償器(11)を接続するような構成でもよい。このように本発明の波長分散補償器を使用すると、光ファイバ伝送路(10)で生じた光信号の歪みを低伝送損失または低PMDで補償できる。

【0073】なお、特開昭63-225562には、被覆を有する光ファイバをコイル胴に多層巻き付けてジャイロ等のセンサに用いる光ファイバコイルを、巻き取り後に加熱処理する光ファイバコイルの製造方法が開示されているが、光ファイバ伝送路における波長分散補償器の分野に関する記載はなく、広帯域用波長分散補償光ファイバに関する記載もない。

【0074】また、特開平4-195104には、センシンググループとして用いられる部分をコイル状に巻回したセンサ用の光ファイバコイルとその光ファイバコイルを巻き取り後に加熱処理を行う光ファイバコイルの製造方法が開示されている。しかし、光ファイバ伝送路における波長分散補償器の分野に関する記載はなく、広帯域用波長分散補償光ファイバに関する記載もない。

【0075】

【発明の効果】以上詳細に説明したように、小型コイルに広帯域用DCFを巻き付けて波長分散補償器を作成するに際し、巻き取り中および巻き取り後に巻き歪み除去処理を施すことにより低伝送損失の波長分散補償器を製作することできる。

【0076】また、広帯域用DCFを小型コイルに巻き取る際に巻きピッチを制御を行いまたは所定にピッチで巻き取り後に熱処理を行うとPMDの小さな波長分散補償器を作成できる。

【0077】したがって、小型コイルに効率よく長尺の広帯域用DCFを低損失および低PMDで収納することができるので、小型の波長分散補償器を作成できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、本発明で使用する被覆層が2層からなる波長分散補償光ファイバの断面図である。

【図2】図2は、本発明の使用する波長分散補償光ファイバの巻き取り用のコイルの斜視図である。

【図3】図3は、本発明の実施の形態で使用する波長分散補償光ファイバの諸元を一覧に示した諸元一覧図である。

【図4】図4は、伝送損失値の張力依存性を示した特性図である。

【図5】図5は、伝送損失値の張力依存性を示した特性図である。

【図6】図6は、伝送損失値の張力依存性を示した特性図である。

【図7】図7は、PMDの巻きピッチ依存性を示した特性図である。

【図8】図8(a)は、巻き取り後のコイルにかけるヒートサイクルの温度変化図である。図8(b)は、図8(a)のヒートサイクルをかけたときの伝送損失値の時間変化を示した特性図である。

【図9】図9は、巻き取り後のコイルにかける別のヒートサイクルの温度変化図である。

【図10】図10(a)は、広帯域DCFをコイルに巻き取りヒートサイクルを加えた後に測定した伝送損失値の波長依存性を示した特性図である。図10(b)は、狭帯域DCFをコイルに巻き取りヒートサイクルを加えた後に測定した伝送損失値の波長依存性を示した特性図である。

【図11】図11は、DCFをコイルに巻き付ける様子を示した模式図である。

【図12】図12は、ヤング率の測定方法を説明する手順図である。

【図13】図13は、本発明の波長分散補償器を使用した光伝送システムの構成図である。

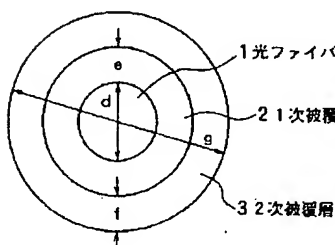
【図14】図14(a)は、本発明の波長分散補償器を使用した別の光伝送システムの構成図である。図14(b)は、波長分散補償器を有する光増幅器の構成図である。図14(c)は、波長分散補償器を有する別の光増幅器の構成図である。

【図15】図15(a)～(c)は、波長分散補償光ファイバの断面方向の屈折率分布を示した模式図である。

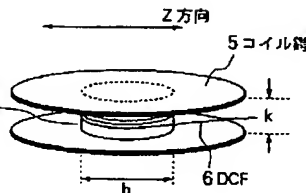
【符号の説明】

1…光ファイバ、2…一次被覆層、3…二次被覆層、4…DCF巻き取りコイル胴、5…DCF巻き取りコイル、6…DCF、7…熱風、8…送信器、9…光増幅器、10…光ファイバ伝送路、11…波長分散補償器、12…受信器、13…波長分散補償器付き光増幅器

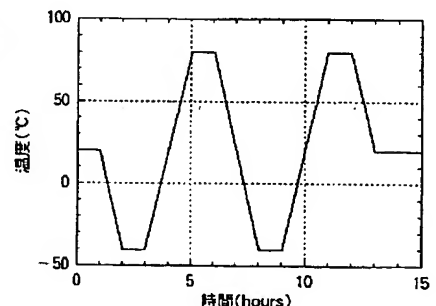
【図1】



【図2】



【図9】

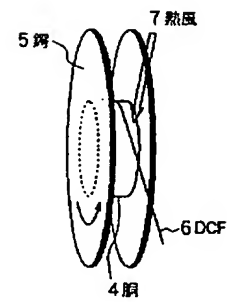


【図3】

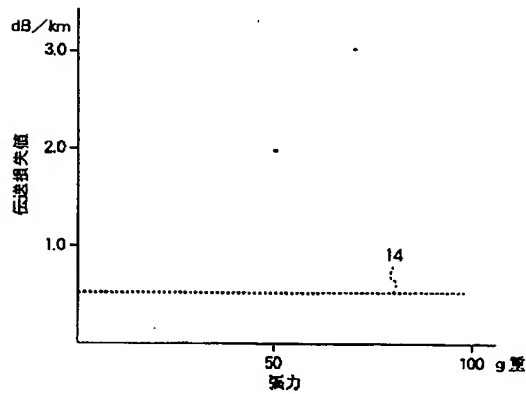
ファイバ	A	B	C	D	E	F	G	H
屈折率分布形状	図15(b)	図15(a)	図15(b)	図15(b)	図15(c)	図15(b)	図15(b)	図15(b)
$\Delta$ (%)	2.5	2.6	2.1	2.1	1.1	2.5	2.1	2.1
$\Delta$ depressed (%)	-0.5	-	-0.35	-0.35	-0.5	-0.5	-0.35	-0.35
$\Delta$ cladding (%)	-	-0.4	-	-	0.2	-	-	-
a ( $\mu$ m)	2.54	2.34	2.65	2.67	3.80	2.57	2.88	2.88
b ( $\mu$ m)	7.26	-	7.58	7.83	9.51	7.34	7.58	7.58
c ( $\mu$ m)	-	-	-	-	13.38	-	-	-
ガラス径 ( $\mu$ m) d	100	100	110	98	100	115	97	97
一次被覆厚 ( $\mu$ m) e	20	20	20	20	25	無し	無し	無し
一次被覆ヤング率 (kg/mm <sup>2</sup> )	0.06	0.06	0.03	0.12	0.15	-	-	-
二次被覆厚 ( $\mu$ m) f	20	20	15	30	45	70	20	20
二次被覆ヤング率 (kg/mm <sup>2</sup> )	65	65	100	50	90	40	120	1
ファイバ外径 ( $\mu$ m) g	180	180	180	198	240	255	137	137

注)被覆のヤング率は20℃での値

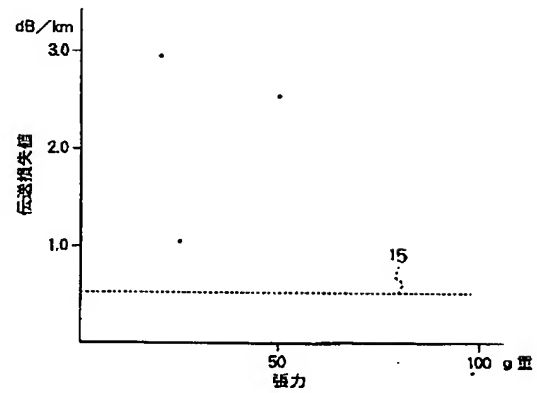
【図11】



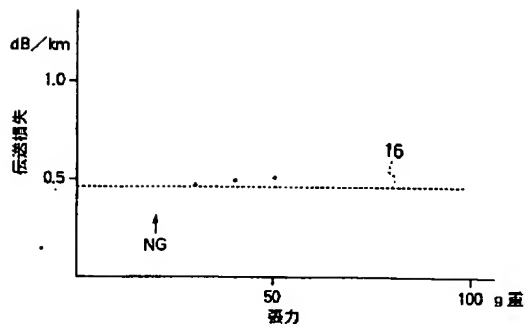
【図4】



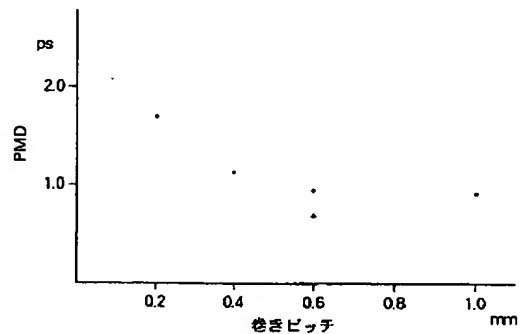
【図5】



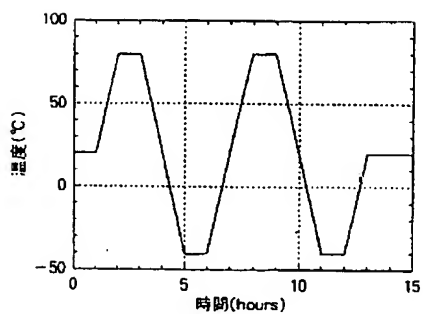
【図6】



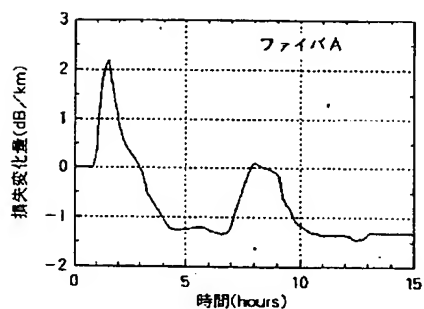
【図7】



【図8】

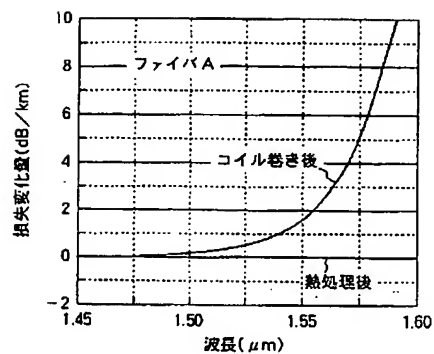


(a)

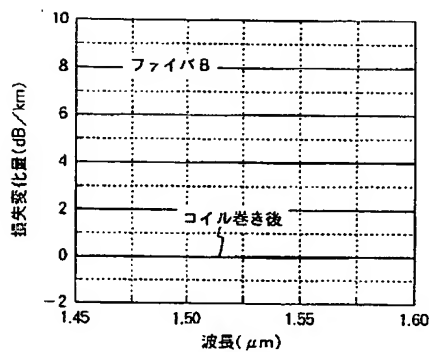


(b)

【図10】



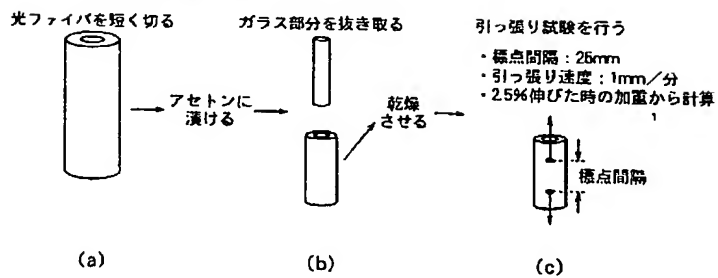
(a)



(b)

【図12】

## ヤング率の測定方法

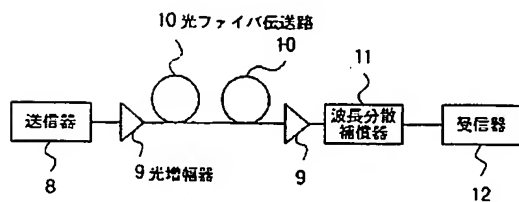


(a)

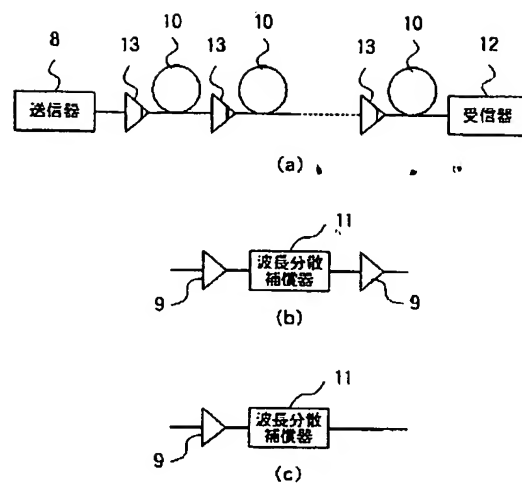
(b)

(c)

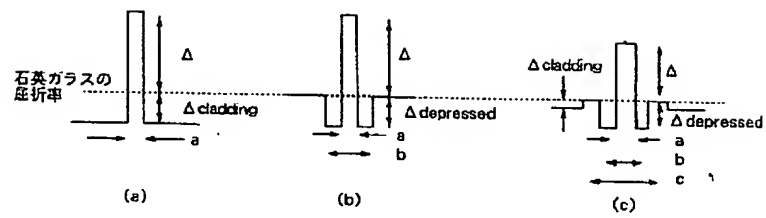
【図13】



【図14】



【図15】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER: \_\_\_\_\_**

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**